

Piotr KISIEL¹
Bożena ZWOLIŃSKA²

MODELOWANIE LOGISTYCZNEGO SYSTEMU TECHNOLOGICZNEGO Z WYKORZYSTANIEM PAKIETU SYMULACYJNEGO DOSIMIS-3

Logistyczny system technologiczny huty surowcowej stali jest niezwykle trudny do analizy. Poprzez swoją wielowariantowość wykonanie modelu komputerowego jest niezwykle skomplikowane. Uwzględnić bowiem należy nie tylko ścieżki technologiczne, które pokonuje dany typ materiału, ale też zaburzenia spowodowane planowanymi konserwacjami poszczególnych urządzeń biorących udział w procesie technologicznym czy transportowym. Dodatkowym utrudnieniem jest mnogość asortymentów produkowanych gatunków stali, a każdy z etapów obróbki stali charakteryzuje się różnymi czasami potrzebnymi na wykonanie danej operacji, ale też wielkość wlewków otrzymywanych w końcowym etapie produkcji. Kolejnym utrudnieniem jest to, że różne gatunki stali wymagają różnych operacji technologicznych.

MODELLING OF THE LOGISTICS PROCESS SYSTEM USING THE DOSIMIS-3 SIMULATION PACKAGE

The logistics process system in a steel mill is exceptionally difficult to analyse. Its divergent character and multi-variant structure make creating a computer model a very complex task. This is because it is not only the process paths of a given material type which should be considered, but also the disturbances resulting from the scheduled maintenance of individual machines involved in the technology or handling process. Another matter which must be taken into account is the multitude of steel grades produced, along with the fact that each steel processing stage is a specific operation involving a specific, and different, period of time, which is further influenced by the size of ingots to be obtained in the final production stage. Furthermore, various grades of steel require various process operations. The preparation and testing of a computer model for proper operation is therefore a highly time-consuming task.

¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, 30 – 059 Kraków, Al. Mickiewicza 30, tel.:12-617-39-61, e-mail: pikisiel@agh.edu.pl

²Podkarpacka Szkoła Wyższa im. Bł. Ks. Władysława Findysza w Jasle, ul. Na Kotlinę 8, 38-200 Jasło, e-mail: zwolinska@op.pl

1. WSTĘP

Problem właściwej oceny funkcjonowania systemu technologicznego huty surowcowej stali i wszystkich elementów wchodzących w jego skład był poruszany niejednokrotnie. Większość opracowań dotyczy jednak oceny poszczególnych urządzeń. Dopiero rozwój teorii systemów i zastosowanie technik informatycznych pozwoliły na budowę modeli, które z wystarczającą na potrzeby rozpatrywanego zagadnienia dokładnością pozwoliły opisać tak skomplikowany system o charakterze dywergencyjnym. System wytwarzania stali jest układem złożonym, składającym się z wielu skomplikowanych urządzeń technologicznych o różnych czasach realizacji procesu technologicznego oraz z wielu urządzeń transportowych, realizujących procesy przemieszczania ciekłej stali. Cechą charakterystyczną większości tych procesów jest to, że mają charakter ciągły, bez możliwości przerwania procesu lub wyłączenia urządzeń technologicznych w dowolnym momencie [1].

W celu budowy komputerowego modelu symulacyjnego należy więc dokonać identyfikacji obiektu rzeczywistego. Identyfikacja polegać powinna na wyodrębnieniu elementów, które są niezbędne z uwagi na: potrzeby, możliwości, warunki, ograniczenia oraz obiekt, przedmiot, cel i zakres naszych badań [2]. Określa się tu również identyfikację strukturalnych, funkcjonalnych i rozwojowych aspektów modelowania [3].

W najbardziej ogólnym ujęciu identyfikacja sprowadza się do opisu rzeczywistości i wyodrębnieniu systemu, otoczenia i relacji między nimi, z uwzględnieniem wymaganej potrzebami dekompozycji tych elementów na ich elementy składowe [4].

W przeprowadzeniu identyfikacji wykorzystuje się więc powszechnie elementy matematyki i statystyki, a także różne metody opisowe i graficzne [5,6,7].

2. OPIS SYSTEMU TECHNOLOGICZNEGO W ZAKŁADZIE PRODUKCJI STALI

W wyniku identyfikacji przeprowadzonej w Zakładzie Produkcji Stali wyodrębniono z systemu produkcyjnego podsystemy, które wpływają bezpośrednio na działanie obiektu badań. Zdecydowano o wyodrębnieniu pięciu podstawowych podsystemów. Są to:

- P1 – podsystem Konwertorów - KT;
- P2 – podsystem Argonowania - AR;
- P3 – podsystem Pieców Kadziowych - LHF;
- P4 – podsystem Próżniowego Odgazowywania - RH;
- P5 – podsystem Ciągłego Odlewania Stali - COS.

Podsystem P1 składa się z trzech konwertorów tlenowych KT1, KT2 i KT3, o czasie obróbki od 40 do 50 minut i pojemności nominalnej 320 Mg. Podstawowy układ pracy konwertorów to dwa konwertory w ciągłej pracy, trzeci w remoncie. W zależności od gatunku i przeznaczenia stali, oraz dodatkowych wymagań odbiorcydobierany jest odpowiedni przebieg procesu technologicznego z uwzględnieniem:

- doboru materiałów wsadowych do konwertora;
- procesu wytopu stali w konwertorze;
- wprowadzenia żelazostopów;
- obróbki pozapiecowej stali.

W skład podsystemu argonowania wchodzi trzy stanowiska AR1÷AR3, a czas realizacji procesu technologicznego wynosi do 10 minut. Podstawowe zadania tego podsystemu to:

- wyrównanie temperatury i homogenizacja kąpieli metalowej w kadzi;
- pomiaru temperatury stali;
- pomiaru aktywności tlenu w metalu;
- pomiary zawartości FeO i MnO w żużlu;
- poboru próby stali do badań metalograficznych.

Stanowiska wyposażone są w następujące urządzenia:

- lanca do wprowadzania argonu od góry;
- instalacja doprowadzania argonu od dołu kadzi poprzez kształtki porowate;
- dwużyłowa maszyna do podawania drutu.

Podsystemu Pieców Kadziowych składa się z pieca do obróbki stali w kadzi LHF1 i dwustanowiskowego pieca LHF 2/1 i LHF 2/2. Czas obróbki stali z jednego wytopu waha się od 30 do 40 minut.

Posiadanie pieców kadziowych umożliwia:

- przeprowadzanie wytopu stali w konwertorach z odpowiednio dużym wyprzedzeniem czasowym w stosunku do procesu odlewania stali;
- podgrzewanie stali do wymaganej temperatury w przypadku gdy spuszczone została z konwertora przy niższej temperaturze niż wynika to z potrzeb procesu technologicznego. Wcześniejszy spust stali pozwala między innymi zwiększyć wydajność konwertora;

Wcześniejszy spust stali pozwala między innymi zwiększyć wydajność konwertora;

- odtlenianie stali z użyciem drutu aluminiowego;
- przeprowadzenie odsiarczania stali z zastosowaniem żużla syntetycznego lub stopów wapnia;
- przeprowadzenie korekty składu chemicznego stali;
- przeprowadzenie pomiaru temperatury stali;
- przeprowadzenie pomiaru aktywności tlenu;
- pobranie próby stali do badań metalograficznych.

Niektóre gatunki stali wymagają dodatkowego procesu obróbki, jakim jest próżniowe odgazowanie stali ciekłej. Przeprowadza się ją na stanowisku RH (P4). Obróbka stali na tym stanowisku zajmuje od 30 do 40 minut. Próżniowe odgazowanie stali metodą RH umożliwia obniżenie w stali stężenia:

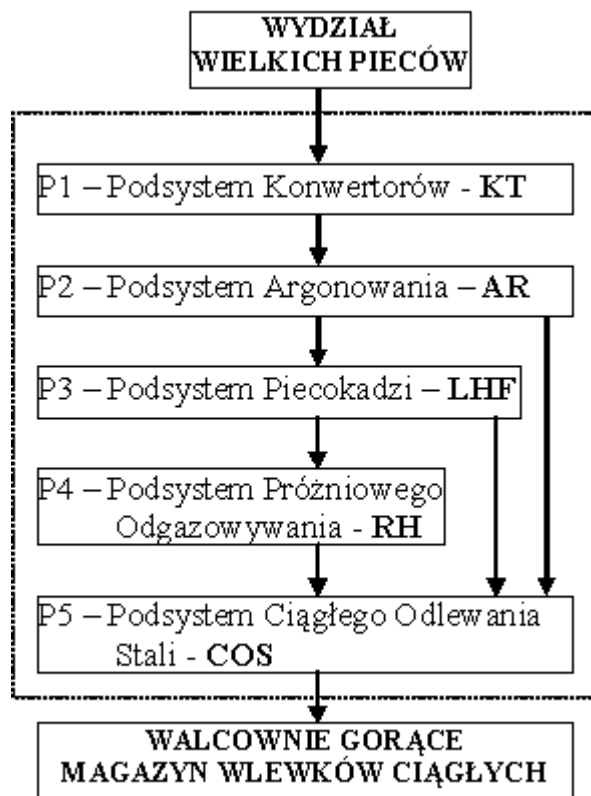
- tlenu do 4 – 2,5 ppm;
- wodoru do 0,8-2,0 ppm.

Podstawowymi zaletami tej metody odtleniania stali jest:

- duża szybkość i skuteczność odgazowywania stali;
- proces prowadzony jest bez użycia żużla;
- ograniczone straty ciepła;
- możliwość dodawania żelazostopów w trakcie odgazowywania stali.

Stal płynna następnie kierowana jest do urządzeń ciągłego odlewania stali COS1 i COS2. Czas odlewania zależy w tym wypadku od przekroju poprzecznego kęsisk i prędkości odlewania, a zawiera się w przedziale od 90 do 180 minut. Urządzenie COS1 przeznaczone jest do odlewania kęsisk, a urządzenie COS2 przeznaczone jest do odlewania kęsów.

Na rysunku 1 przedstawiono dekompozycję Zakładu Produkcji Stali.

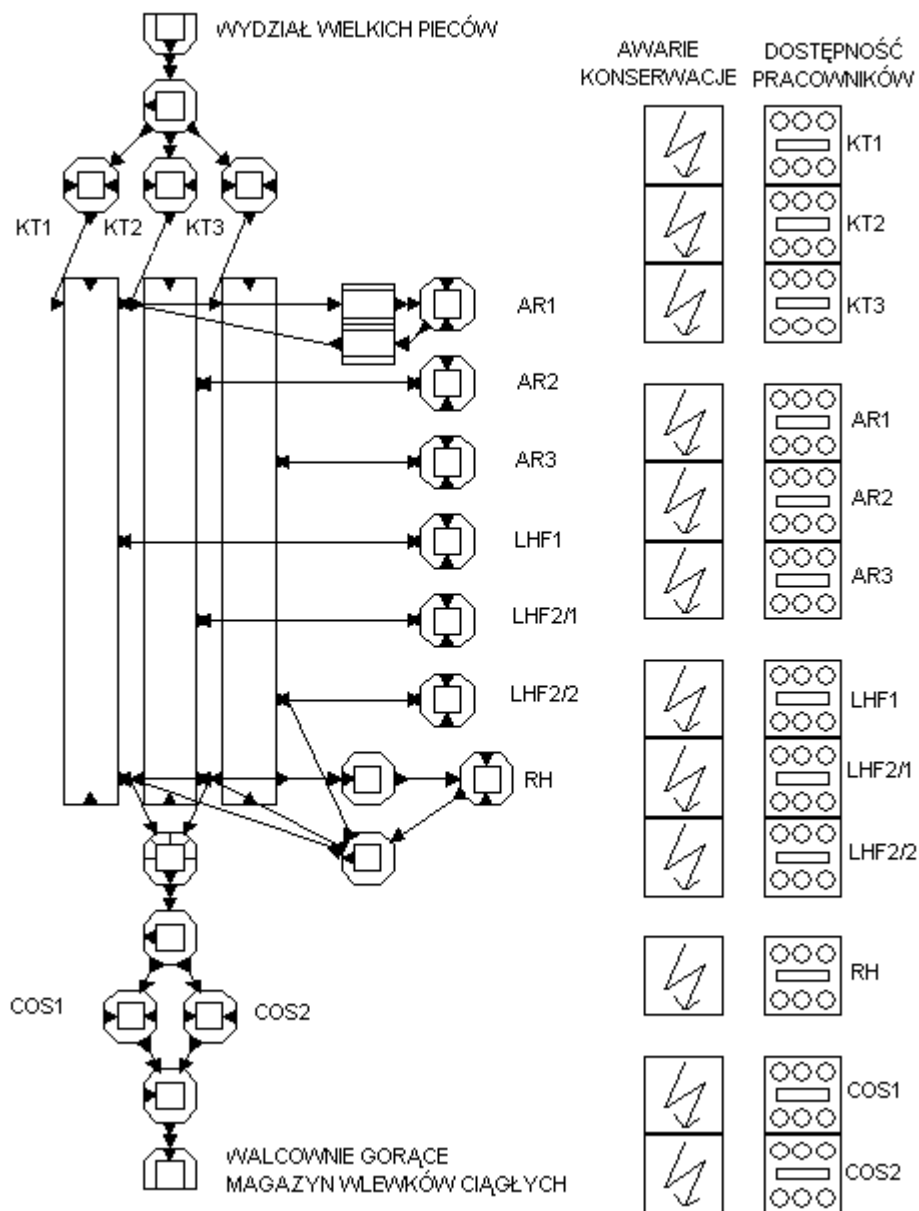


Rys. 1. Dekompozycja na podsystemy Zakładu Produkcji Stali

3. MODEL ZAKŁADU PRODUKCJI STALI

W wyniku przeprowadzonej identyfikacji zebrano dane dotyczące relacji i powiązań pomiędzy współpracującymi podsystemami. Wyodrębniono najważniejsze, z punktu widzenia realizacji planowych zadań technologicznych, elementy ciągu technologicznego i transportowego. W skład systemu transportu technologicznego wchodzi: dwie suwnice zalewowe i dwie suwnice do załadunku złomu oraz trzy wozy stalownicze działające na rzecz podsystemów P1 do P3, dwa wozy stalownicze w podsystemie P3, pięć suwnic rozlewniczych i dwa wozy stalownicze w systemie P4, a także pięć suwnic rozlewniczych w podsystemie P5 współpracujących z dwoma suwnicami hali COS. Urządzenia te tworzą trzy główne ciągi transportowe Zakładu Produkcji Stali. Zebrane dane posłużyły do budowy modelu symulacyjnego uwzględniającego wszystkie urządzenia technologiczne znajdujące się w przedstawionym zakładzie oraz trzy główne ścieżki transportu technologicznego.

Schemat modelu symulacyjnego przedstawiono na rysunku 2.

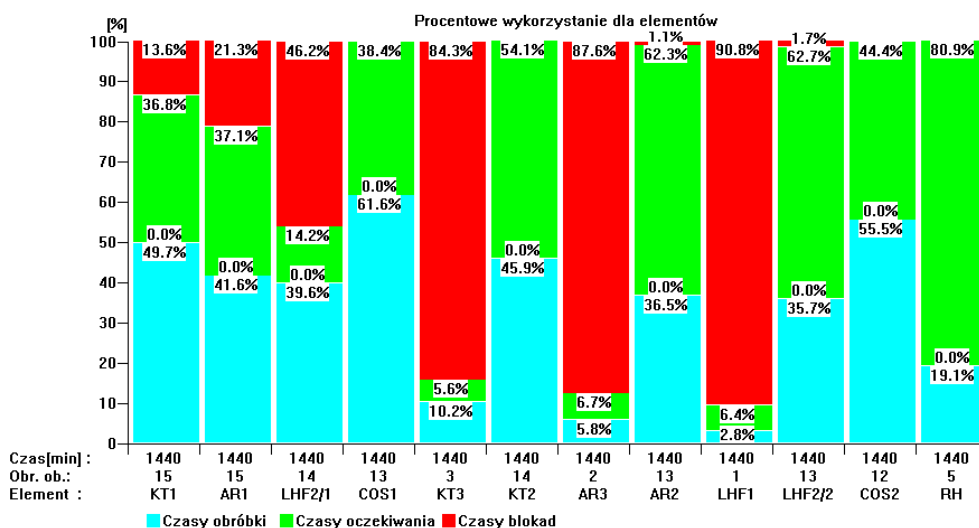


Rys. 2. Schemat modelu symulacyjnego Zakładu Produkcji Stali w DOSIMIS-3

W celu poprawnego i najbardziej zbliżonego do rzeczywistego układu do modelu wprowadzono dane wieloletnie dla urządzeń technologicznych. Umieszczone dane dotyczyły nie tylko czasów obróbki poszczególnych grup produktów z uwzględnieniem

czasów manipulacji materiałem na poszczególnych urządzeniach, ale też zaimplementowano czasy konserwacji tychże urządzeń. Jednakże dokonano też kilku uproszczeń. Najważniejsze z nich to podział asortymentu wytwarzanych gatunków stali na kilka grup. Podziału dokonano ze względu na czasy obróbki poszczególnych asortymentów na agregatach technologicznych. Był to zabieg konieczny, gdyż każdą z grup należy implementować osobno, a liczba asortymentów jest znaczna. Drugim istotnym uproszczeniem było pominięcie czasów awarii. Dane dotyczące przestoju spowodowanych awariami zostały zebrane, jednakże ich wykorzystanie spowodowało wydłużenie czasu symulacji. Jest to uproszczenie istotne, jednak w celu wykorzystania tego modelu do krótkoterminowego harmonogramowania produkcji (gdzie czas odgrywa znaczącą rolę) wydaje się być konieczne. Poza tym przestoje spowodowane awariami urządzeń technologicznych zdarzają się niezwykle rzadko. Jest to spowodowane częstymi kontrolami stanu technicznego urządzeń technologicznych. Ponadto po każdej kampanii przeprowadza się remonty planowe, których głównym zadaniem jest właśnie wyeliminowanie awarii. Remonty planowe zostały w modelu uwzględnione, dodatkowo uwzględniono czasy wykonywania przeglądów na urządzeniach technologicznych. Kolejnym z uproszczeń było nadanie priorytetów pierwszeństwa niektórym przejściom technologicznym. Materiał poddany obróbce na konwertorze KT1 poddawany był procesowi argonowania na agregacie AR1 i w wypadku wolnej piecokadzi LHF2/1 był tam kierowany. Jeżeli agregat LHF2/1 był zajęty, materiał przechodził na LHF2/2. Analogicznie najkrótszą drogą w wypadku niemożności wykonania operacji na LHF2/2 był agregat LHF1, ale już dla LHF1 był wskazywany agregat LHF2/1.

Na rysunku 3 przedstawiono procentową zajętość urządzeń technologicznych dla rzeczywistych danych.



Rys. 3. Procentowe wykorzystanie urządzeń technologicznych

Symulację wykonano dla liczby 1000 wytopów miesięcznie. Analizując wyniki symulacji przedstawione na rysunku 2 można zauważyć, że dla zadanej liczby wytopów najbardziej obciążonymi urządzeniami są agregaty ciągłego odlewania stali COS1 i COS2. Zajętość obydwu elementów kształtuje się na poziomie 55 – 60 %. Konwertor KT1 obciążony jest w 49,7 %, a konwertor KT2 – 45,9 %. Konwertor KT3 wykazuje obciążenie 10,2 % co jest zgodne z danymi pozyskanymi z analizowanego Zakładu Produkcji Stali. Podsystem konwertorów tlenowych pracuje w cyklu, że dwa konwertory wykonują obróbkę technologiczną materiału, a na trzecim prowadzone są prace remontowe. Stanowisko argonowania AR1 wykazuje 41,6% wykorzystania, AR2 – 36,5 % wykorzystania, natomiast AR3 – 5,8%. W przypadku agregatów pieców kadziowych: LHF2/1 – 39,6 %, LHF2/2 – 35,7%, LHF1 – 2,8 %. W urządzeniu próżniowego odgazowywania RH wykonano obróbkę 229 wytopów co stanowi prawie 19,1 % dostępności tegoż urządzenia.

4. WNIOSKI

Analiza systemu technologicznego Zakładu Produkcji Stali wymagała zebrania wielu szczegółowych danych o całkowitym przepływie materiału od produkcji stali ciekłej w konwertorach tlenowych, aż do magazynu wlewków ciągłych. W celu dokonania poprawnej identyfikacji agregatów produkcyjnych i głównych urządzeń transportowych umożliwiający przepływ materiału pomiędzy agregatami technologicznymi wskazane było zastosowanie teorii systemów. Budowa modelu symulacyjnego posłużyła do dokonania oceny wykorzystania urządzeń technologicznych, a tym samym do określenia maksymalnej zdolności produkcyjnej analizowanego obiektu. Otrzymane wyniki symulacji dla zadanej liczby 1000 wytopów miesięcznie wskazują, że obciążenie agregatów technologicznych COS1 i COS2 Podsystemu Ciągłego Odlewania Stali jest najwyższe i wynosi około 60 %. W wyniku dalszych prac okazało się, że graniczna liczba wytopów możliwych do wykonania w tym podsystemie to około 1400 wytopów miesięcznie (przy założeniu, że przerwy w pracy spowodowane są tylko konserwacją urządzeń, a nie awariami). Ponadto model komputerowy ma możliwość wskazania konfliktów maszynowych w systemie produkcyjnym. Wystąpiły one głównie w systemie transportowym omawianego zakładu. Spowodowane były zazwyczaj koniecznością przesunięcia materiału do podgrzania w piecach kadziowych. Zawroty takie pojawiają się w 5 % przypadków. W prezentowanym modelu nie przewidziano także konserwacji i awarii urządzeń transportowych. Zabieg ten został przeprowadzony z premedytacją. We wcześniejszych pracach udowodniono bowiem, że przestoje tych urządzeń nie wpływają w znaczący sposób na działanie systemu technologicznego. W prezentowanym zakładzie występuje bowiem znaczna nadwyżka środków transportowych, a wprowadzanie dodatkowych bloków w model spowodowałoby znaczne wydłużenie czasu symulacji. Mimo wprowadzenia wymienionych wyżej uproszczeń, czas symulacji znacznie przekroczył dziesięć godzin. Niestety ze względu na długie czasy trwania symulacji oraz brak możliwości określania kolejności wytwarzania poszczególnych gatunków stali modelowanie tego typu systemu technologicznego w pakiecie komputerowym DOSIMIS nie powinno być stosowane przy wykonywaniu harmonogramów produkcji, natomiast może być wykorzystane przy określaniu wydajności systemu produkcyjnego.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Krupowicz A.: *Metody numeryczne zagadnień początkowych równań różniczkowych zwyczajnych*, Warszawa, PWN 1986.
- [1] Karwat B., Kisiel P., Łebkowski P., Machnik R., Michnowicz E., Niedźwiedzki J.: *Modelowanie procesu przepływu materiałów w zakładach wytwarzania stali*, Monografie nr 33, Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Kraków 2007.
- [2] Mynarski S.: *Elementy teorii systemów i cybernetyki*, PWN, Warszawa 1979.
- [3] Ziemia S. (red): *Badania systemów eksploatacyjnych*, t II. Ossolineum, Warszawa 1984.
- [4] Kisiel P.: *Modelowanie przepływu materiałów w walcowni blach*. Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków 2004.
- [5] Karwat B., Kisiel P., Machnik R., Michnowicz E.: *Modelowanie systemu transportu technologicznego przy wykorzystaniu pakietu komputerowego*, XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna, Zarządzanie w Przedsiębiorstwie część 2, Szczyrk 28 czerwca – 1 lipca 2006, Częstochowa 2006.
- [6] Kisiel P.: *Wykorzystanie komputerowego pakietu symulacyjnego przy podejmowaniu decyzji* Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Seria Monografie nr 3, Kraków 2005.
- [7] Kisiel P., Karwat B., Machnik R.: *Opis systemu transportu w wydziale gorącym huty surowcowej stali*, Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej (red. nauk. Lech Bukowski). Wydawnictwa AGH, Kraków 2009.